

L.-P. Erasmus, C.W. Neidig, A. Möltner, R. Hölzl  
Beeinflussung der viszeralen Sensibilität  
durch somatosensorische Signale.  
Teil II: Summation.

Labor für Klinische Psychophysiologie

Nr. 28

F O R S C H U N G S B E R I C H T E

AUS DEM

OTTO - SELZ - INSTITUT

FÜR

PSYCHOLOGIE UND ERZIEHUNGSWISSENSCHAFT

DER

UNIVERSITÄT MANNHEIM (WH)

L.-P. Erasmus, C.W. Neidig, A. Möltner, R. Hölzl  
Beeinflussung der viszerale Sensibilität  
durch somatosensorische Signale.  
Teil II: Summation.

Labor für Klinische Psychophysiologie

Nr. 28

Die Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützt (Ho 904/6).



# 1. Einführung

Die Erforschung interozeptiver Vorgänge im Magen-Darm-Trakt gewinnt in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung. Der größte Teil der viszeral afferenten Aktivität ist in lokale Regulationsvorgänge wie Sekretion, Resorption und Motilität eingebunden; die Information, die dem ZNS von Interozeptoren zugeleitet wird, erreicht dabei nur in seltenen Fällen die Stufen bewußter Verarbeitung. Dennoch erfüllen interozeptive Prozesse verhaltenssteuernde Funktionen, z.B. über das Allgemeinbefinden und die Wahrnehmung körperlicher Symptome. Die Sensibilität des unteren Verdauungstrakts (Sigmoid, Rektum) nimmt eine entscheidende Rolle bei der willkürlichen Steuerung der Stuhlentleerung ein (Cerulli et al., 1979; Whitehead et al., 1981). Klinische Relevanz interozeptiver Vorgänge dieser Regionen ist gegeben bei beeinträchtigter Sensibilität aufgrund von Neuro-Enteropathien und beim Vorliegen funktioneller abdomineller Schmerzen.

Wie frühe Beobachtungen an Patienten mit abdomineller Schmerzsymptomatik zeigen, wird nozizeptive Reizung der Eingeweide oft nicht oder nicht nur im Körperinneren als Schmerz empfunden (McKenzie, 1909). In erster Linie kommt es zu einer Hyperalgesie oberflächlicher somatischer Strukturen, der Muskulatur und Haut (Übertragener Schmerz). Die Schmerzübertragung erfolgt dabei in die entsprechenden Dermatome, d.h. in diejenigen Körperregionen, die von den gleichen Spinalnerven afferent innerviert werden wie das geschädigte viszerale Gewebe. Ein Zusammenwirken viszerosensorischer und somatosensorischer Sinneskanäle beim Zustandekommen von abdominellen Leibesempfindungen wird ferner nahegelegt durch den geringen Anteil zentral aufsteigender viszeraler Bahnen (Jänig & Morrison, 1986). Adám et al. (1990) postulieren eine "gemischte Natur" kolonischer Impulse und ziehen eine Beteiligung kutaner, interstitieller und peritonealer Rezeptoren in Betracht.

Die gegenseitige Beeinflussung zweier Sinnesmodalitäten ist seit langem Gegenstand psychophysikalischer Studien. Aus methodischen Gründen beschränkten sich die Forschungsaktivitäten meist auf die Untersuchung exterozeptiver Systeme. Exemplarisch sei eine Arbeit von Zwosta & Zenhausen (1969) genannt, die den Einfluß von weißem Rauschen auf die visuelle Entdeckungsleistung untersuchten. Das Rauschen wurde auf 7 Intensitätsstufen dargeboten, 3 Stufen über und unter der absoluten Wahrnehmungsschwelle sowie einmal ausbleibend. Es zeigte sich, daß die Entdeckungsleistung bei weißem Rauschen im Schwellenbereich gegenüber fehlendem Rauschen leicht vermindert war. Ferner zeigte sich, daß sie bei überschwelligem und unterschwelligem Rauschen signifikant erhöht war. Demnach scheinen Reize, die nicht subjektiv repräsentiert werden, die Reizaufnahme in anderen Sinnesmodalitäten zu erleichtern.

Hefferline & Perera (1963) demonstrierten, daß sich präparatorische muskuläre Reaktionen auf winzige Muskelzuckungen konditionieren lassen, die von den Probanden nicht wahrgenommen werden können. Drei Probanden sollten nach einem Tonsignal eine Reaktionstaste drücken, was aber nur bei unmittelbarer Aufeinanderfolge einer verdeckten Zuckung im linken Daumen und der präparatorischen Aktivität im ausführenden rechten Zeigefinger verstärkt wurde. Nach Ausblenden des akustischen Hilfsreizes blieb bei zwei von drei Probanden die Abfolge verdeckter Muskelreaktionen (linker Daumen - rechter Zeigefinger) stabil. Ein Proband drückte auch dann noch die Reaktionstaste, als der Ton nicht mehr dargeboten wurde, und gab an, den Ton immer noch gehört zu haben. Diese kleine Studie kann als ein

Hinweis dafür betrachtet werden, daß Konditionierungen insbesondere verdeckter Reaktionen ohne Beteiligung des Bewußtseins auftreten können. Darüberhinaus läßt der Fall einer "konditionierten Halluzination" vermuten, daß die akustische Wahrnehmung durch (unterschwellige) Propriozeptionen beeinflusst werden kann. Die propriozeptiv-akustische Überblendung bleibt indes ein singuläres Phänomen, da selbst Hefferline diesen Effekt in einer späteren Studie nicht replizieren konnte (Hefferline et al., 1973).

Die Wechselwirkung exterozeptiver und *viszeraler* Sinneskanäle wurde in erster Linie von osteuropäischen Arbeitsgruppen mit Pawlowschen Konditionierungsmethoden erforscht. Eine Zusammenfassung dieser frühen Experimente geben Übersichtsarbeiten von Bykov (1957), Bykov & Kurzin (1966) und Razran, (1961). Sie belegen insgesamt, daß über interozeptive Konditionierung verschiedene Reaktionssysteme beeinflussbar sind. Als Indikatoren extero-interozeptiver Wechselwirkungen dienten beobachtbare Verhaltensweisen (z.B. Wassilewskaja, 1948, 1950; Slucki et al, 1965, 1969; Bárdos & Adám, 1978) sowie Reaktionen diverser physiologischer effektorischer Systeme, etwa Veränderungen in sekretorischen Funktionen und der Motilität der glatten Muskulatur von Verdauungs- und Ausscheidungsorganen (Airapetjanz et al., 1952; Dedaschew, 1959; Adám, 1967).

Der Einfluß extero-interozeptiver Reizkopplungen auf *zentrale*, d.h. zerebrale Verarbeitungsstationen sowie auf subjektive Urteile wurde hingegen seltener untersucht. Adám (1967) erzielte eine klassische Konditionierung der visuell induzierten EEG-Alpha-Blockade auf rektale Dehnungsreize und eine anschließende Spontanerholung der gelöschten Alpha-Blockade durch Lenkung der Aufmerksamkeit auf den intrarektalen Reiz. Airapetjanz führt empirische Belege dafür an, daß die Sensibilität der abdominalen Eingeweide durch exterozeptive Information beeinflusst werden kann. Mit Hilfe manipulierter Rückmeldung physiologischer Vorgänge zeigte er die Konditionierbarkeit von Harndrang sowie begleitender Kontraktionen des Detrusormuskels (Airapetjanz et al, 1952). Ferner demonstrierte er an einem Einzelfall, daß Empfindungen auch aus dem Dickdarm Lerneinflüssen unterliegen (Airapetjanz, 1956). Bei einem Patienten mit Darmfistel wurde eine mit einem Ballon versehene Sonde durch die Fistel ins Kolon eingeführt. Durch Dehnungen des Ballons wurden mechanische Reize an die Darmwand abgeben. Der Patient blickte während des Versuchs auf ein manometrisches Zifferblatt, dessen Anzeige unabhängig vom intrakolonischen Druck variiert werden konnte. Bevor ein schwellennaher Reiz weiter verkleinert wurde, wurde bereits - bei noch unverändertem Volumen - ein niedrigerer Wert auf dem Manometer angezeigt. Durch vorzeitige Verkleinerung der zurückgemeldeten Reizgröße konnte die Schwelle für den intrakolonischen Reiz sukzessiv gesenkt werden, so daß der Proband schließlich kleinere Dehnungsvolumina als zu Sitzungsbeginn wahrnehmen konnte. Versuchsaufbau und Ergebnis sprechen weniger für eine direkte afferent sensorische Beeinflussung der viszeralen Sensibilität, sie unterstreichen vielmehr den Einfluß kognitiver Faktoren auf viszerale Schwellen.

In einer neuen Arbeit konnte mit psychophysikalischen Methoden eine direkte Wechselwirkung bei der zentralen Verarbeitung viszeraler und äußerer abdominaler Dehnungsreize gezeigt werden. Der Effekt kombinierter interner und externer Stimulation auf interozeptive Schwellen wurde im Rahmen eines Multiple staircase-Paradigmas untersucht (Neidig et al., 1993), wobei unter variierenden zeitlichen Beziehungen

zwischen den Reizen eine intermodale Diskrimination verlangt wurde. Die Randbedingungen der Wahrnehmungsaufgaben - Abfrage der Wahrnehmung, getrennt nach äußerem und innerem Reiz - und die Mikrostruktur der Zwei-Alternativ-Forced choice-Trials führten zu einem Ansteigen der interozeptiven Schwellenvolumina bei simultaner gegenüber isolierter Darbietung der Reize, was als Maskierung des viszeralen Reizes durch den abdominellen taktilen Reiz imponiert. Die Stärke des Effekts variierte mit dem Ort der abdominellen Stimulation: Bei intratomaler Applikation (linker unterer Quadrant) wurden schwächere Maskierungseffekte beobachtet als bei extratomaler Reizung (rechter oberer Quadrant). Es wird vermutet, daß im ersten Fall Summationseffekte den maskierenden Einflüssen entgegenwirken.

Das Ziel der vorliegenden Studie bestand in einer näheren Untersuchung der somato-viszeralen Summation. Summation meint dabei eine Zunahme der Sensibilität für intrakolonische Dehnungsreizung aufgrund gleichzeitiger externer abdomineller Stimulation. Gegenüber der Vorläuferstudie wurden einige psychophysikalischen Randbedingungen modifiziert, die das Auftreten von Summation somatischer und viszeraler Afferenzen erleichtern sollten. Die Prüfung auf Summationseffekte erfolgte durch einen Vergleich der sensorischen Leistung (als Proportionen richtiger Antworten) bei zeitlich überlappender vs. zeitlich getrennter Reizdarbietung. Summation würde sich in einer höheren Trefferquote bei simultaner Reizung gegenüber zeitlich aufeinanderfolgender Reizung zeigen. Wenn die applizierten Einzelreize sich im Schwellenbereich bewegen, beschreiben die aus gleichzeitiger und gestaffelter Darbietung resultierenden Trefferhäufigkeiten die zentrale Verarbeitung eines extero-interozeptiven Verbundreizes.

## 2. Methodik

### 2.1. Apparatur

Nach der rektalen Einführung des intraluminalen Reizgebers liegt der Proband ausgestreckt auf dem Rücken auf einer medizinischen Untersuchungsfläche. Der kutane Reizgeber ist mit einem elastischen Gurt auf dem Abdomen befestigt, der intraluminale Reizgeber ist ein Ballon, der sich an der Spitze einer etwa kleinfingerdicken, flexiblen Sonde befindet, die durchs Rektum etwa 35 - 40 cm tief eingeführt wurde. Beide Reizgeber sind über Schläuche und ein Ventilsystem mit einer steuerbaren Pumpe verbunden, deren Kontrolle über einen Laborrechner vom Typ LSI 11 (Fa. DEC) erfolgt. Der gleiche Rechner wird auch zur Erfassung der physiologischen Daten verwendet (Druck in den Reizgebern, Herzrate, Atmung und elektrodermale Aktivität) sowie der psychophysikalischen Daten (Reaktionen des Probanden auf einer Tastatur). Zur Information des Probanden über den Untersuchungsablauf wie zur Abfrage der Wahrnehmungsereignisse wurde ein Monochrom-Bildschirm sowie eine einfache Audioanlage verwendet. Alle aufgezeichneten Signale wurden zusätzlich mit einem Vielkanalschreiber (Fa. Gould, ES1000) festgehalten. Eine schematische Darstellung der Apparatur ist Abb. 1 zu entnehmen.

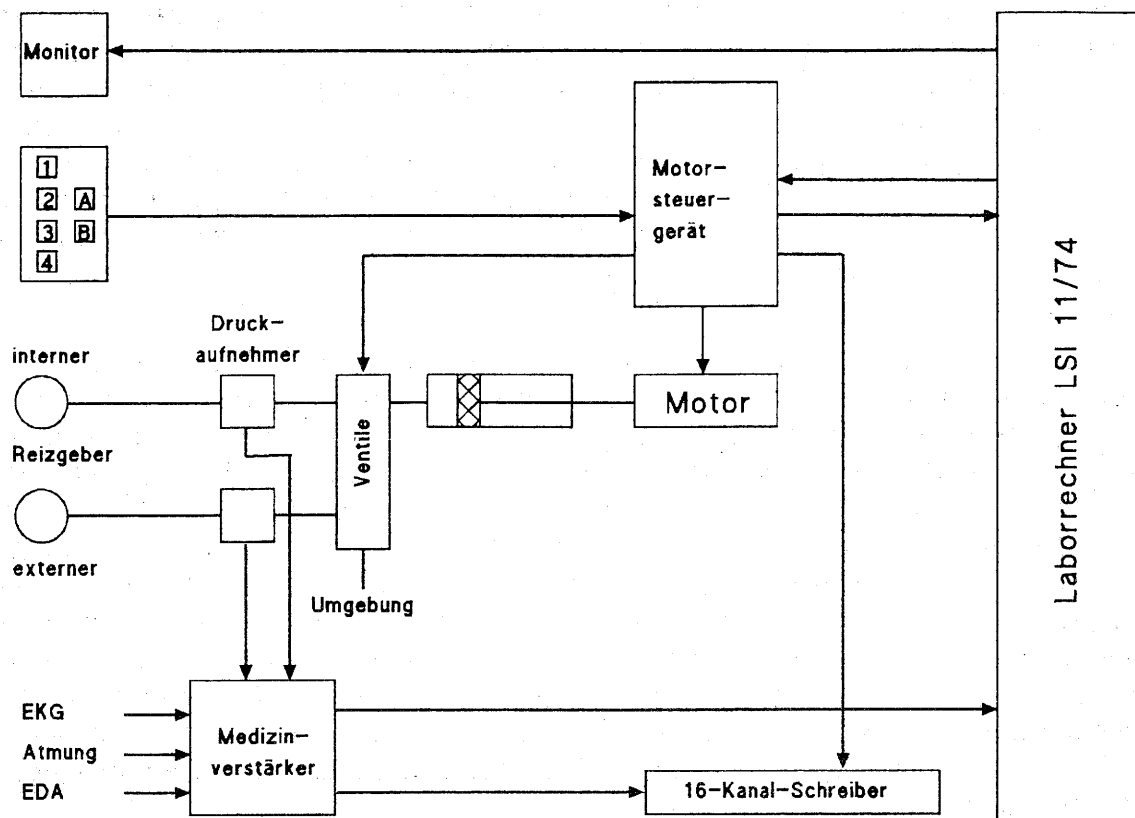


Abb. 1: Schematische Darstellung der Apparatur

### 2.1.1. Untersuchungs sonden

Die intraluminale Sonde wurde von früheren Studien übernommen und ist in Erasmus et al. (1994) ausführlich beschrieben. Es handelt sich um eine kompakte Sonde von 14 mm Durchmesser, deren Flexibilität konstruktiv so festgelegt wurde, daß eine schmerzlose Einführung ohne Rektoskop, nur mit Hilfe neutraler Gleitmittel, möglich ist. In einer Entfernung von 4 cm von der Spitze befindet sich ein Ballon, der die Sonde umgibt. Seine Wand ist an beiden Enden auf der Sonde fixiert, wodurch er eine feste Länge von 40 mm hat. Durch Vordehnung wird erreicht, daß sein Eigendruck innerhalb weiter Volumengrenzen nur geringe Änderungen aufweist. Druck-unabhängige Form und dehnungsunabhängiger Eigendruck machen eine Kalkulation der Wandkräfte möglich, auch ohne die direkte Beobachtung des Ballons in situ, etwa mittels Röntgenkontrastverfahren (Erasmus, 1991). Die Sonde wurde bereits in einer Reihe früherer Studien eingesetzt (Erasmus et al., 1993a, b; Sarno et al., 1993).

Der kutane Reizgeber ist eine flache trommelförmige Kunststoffscheibe mit zentraler Bohrung. Zwischen dem inneren und dem äußeren Rand ist eine Latexwand gespannt. Bei Füllung der Trommel mit Luft wölbt sich die Fläche ringförmig vor und übt damit einen präzise steuerbaren Druck auf die Bauchdecke aus. Der Reizgeber wurde mit kleinen Modifikationen von einem früheren Stimulator übernommen (Adám et al., 1990). Da sich die Bauchdecke bereits in Vorversuchen als extrem sensibel für Druckreize erwies, wurde mittels einer Gasflasche von 1000 ml ein Totvolumen zur

Reduktion der effektiven Reizvolumina dazwischengeschaltet. Die tatsächlichen Reizvolumina reduzieren sich dadurch gegenüber den von der Pumpe ausgestoßenen etwa um den Faktor 10 bis 20. Dadurch konnte für die kutane Reizung das gleiche Pumpsystem wie für die intraluminale Stimulation verwendet werden.

### 2.1.2. System zur Applikation mechanischer Reize

Auch das Pumpensystem wurde zu großen Teilen von früheren Arbeiten übernommen, wenn auch die Steuerung für die speziellen Anforderungen der vorliegenden Studie weitgehend verfeinert werden mußte. Die Pumpe besteht aus einem Hubzylinder, dessen Kolben über eine Spindel und einen Schrittmotor bewegt werden kann. Die Volumina der Reize können von 0 bis 500 ml variiert werden, in Schritten von 0.1 ml. Auch die Pumpgeschwindigkeit ist justierbar im Bereich von 0 bis 50 ml/s, mit einer Auflösung von 0.1 ml/s. Ein mehrteiliges Ventilsystem erlaubt folgende Aktionen:

- Ansaugen von Luft aus der Umgebung
- Vorkompression der Luft im Zylinder, um eine Anpassung des Druck der zugeführten Luft an den im Reizgeber vorhandenen vorzunehmen
- Ausstoßen der Luft in den Sondenballon
- Ausstoßen der Luft in den kutanen Reizgeber
- bzw. umgekehrt zur Darstellung von negativen Reizflanken

Da die Luft von der gleichen Pumpe in zwei verschiedene Ballons gepumpt werden sollte, war die früher empfohlene, sogenannte geschlossene Methode (Erasmus et al., 1993) nicht realisierbar. Die Anwendung eines Verfahrens, bei der der Zylinderraum bei jeder Aktion mit der Umwelt in Verbindung steht, führt aber zu schleichender Veränderung des Sockelvolumens (Vordehnung des Ballons) durch Summation der Volumenfehler, die durch die Druckdifferenz zwischen Ballon und Umgebung entstehen. Es wurde versucht, diese Fehler weitgehend dadurch zu korrigieren, daß der Druck im Pumpenzylinder vor dem Reiz an den Druck im Ballon angepaßt wurde. Dazu wurden beide Werte vor dem Reiz gemessen. Da sich der Druck im Ballon durch den Reiz selbst ändert, wurde nach der Applikation des Reizes bzw. der Reize der Volumenfehler durch den die Pumpe steuernden Rechner berechnet und das Ballonvolumen entsprechen korrigiert. Diese Methode funktioniert unter zwei Annahmen zufriedenstellend: zum einen sollte sich der Druck im Reizgeber zwischen Reiz und Korrektur nicht allzu stark verändern, z.B. durch Kontraktionen des Darms, dies erfordert eine möglichst geringe Eigenaktivität des Darms sowie kurze Zeiten zwischen Reiz und Sockelkorrektur. Zum anderen muß die Genauigkeit der Druckmessung relativ hoch sein, was deswegen auf Probleme führt, weil die Anzahl der Meßwerte wegen der erforderlichen kurzen Zeiten zwischen Reiz und Korrektur niedrig ist, eine Glättung durch Mittelung also nur wenig Wirkung haben kann.

### 2.1.3. Registrierung physiologischer Signale und psychophysiologischer Reaktionen

Neben den beiden Kennwerten des Reizes, Ballondruck und -volumen, wurden auch zentrale und periphere Reaktionsparameter (Herzrate, Atmung und Hautreaktion) aufge-



zeichnet. Außerdem wurden die Antworten der Probanden registriert und gleichzeitig zur Versuchssteuerung mitverwendet. Alle Kennwerte wurden sowohl digitalisiert und auf einem Laborrechner (DEC LSI-11) abgespeichert als auch auf einem Vielkanalschreiber (Gould ES-1000) on-line ausgeschrieben.

## 2.2. Probanden

### 2.2.1. Auswahl und Ausschluß

Die Rekrutierung der Probanden erfolgte durch Aushänge im Bereich der Universität und benachbarter Kliniken. Als Pbn wurden gesunde Personen der Altersgruppe 20-35 Jahre in die Stichprobe aufgenommen. Ausschlußkriterien waren Erkrankungen des Magen-Darm-Trakts, neurologische und psychiatrische Erkrankungen, Diabetes sowie die Einnahme von Analgetika oder Psychopharmaka. Die Ausschlußdiagnostik funktioneller Störungen des Gastrointestinaltrakts erfolgte durch eine strukturierte Befragung, die sich an eine in früheren Studien verwendete Beschwerdeliste anlehnte (Kröger, 1986; Neidig et al., 1993). Zum Ausschluß organischer Vorschädigungen wurde mit Hilfe von Teststreifen auf im Stuhl verstecktes Blut untersucht (Haemoccult-Test). Vor der ersten Interozeptionsmessung wurde von einem Arzt eine allgemeinmedizinische Untersuchung einschließlich Abtasten des Anorektalkanals vorgenommen.

### 2.2.2. Stichprobenumfang

Insgesamt waren 25 Untersuchungstermine angesetzt. Bei 2 Pbn konnten die Messungen aufgrund von Sondenintoleranz nicht durchgeführt werden. Bei einem Pb mußte wegen auftretenden Stuhldrangs und -entleerung die Sonde zweimal neu appliziert sowie einige Reizserien wiederholt werden. In einem Fall versagte die Regelung des externen Reizes: die Reizintensität wurde ständig reduziert (Ausreißen gegen Null). In 2 Messungen des Vorlaufs wurde eine einfachere Prozedur zugrundegelegt (Steuerung der Reizgröße nach subjektiver Empfindung), was eine Vergleichbarkeit erschwerte. Es resultierten somit 10 Messungen, die in die statistische Gruppenauswertung aufgenommen werden konnten.

### 2.2.3. Instruktion

Über den Ablauf des Experiments sowie über potentielle gesundheitliche Risiken wurden die Probanden korrekt informiert und gaben ihre schriftliche Einverständniserklärung. Sie waren ebenfalls über die applizierten Reizkombinationen der Hauptprozedur unterrichtet; lediglich über die a-priori-Wahrscheinlichkeiten der Reizbedingungen und deren Abfolge innerhalb der Trialserien blieben sie uninformiert.

### 2.3. Ablauf der Untersuchung

Nach einer Phase der Sondengewöhnung (30 min) wurden zunächst überschwellige interne Reize gesetzt, um die Pbn mit der Sinnesqualität der experimentellen Stimuli vertraut zu machen ("Demo-Reize"). Anschließend wurden Einzelschwellen für den externen und internen Reiz näherungsweise bestimmt. Ausgehend von leicht überschwelligen Reizgrößen wurde die interozeptive und exterozeptive Schwelle dabei von

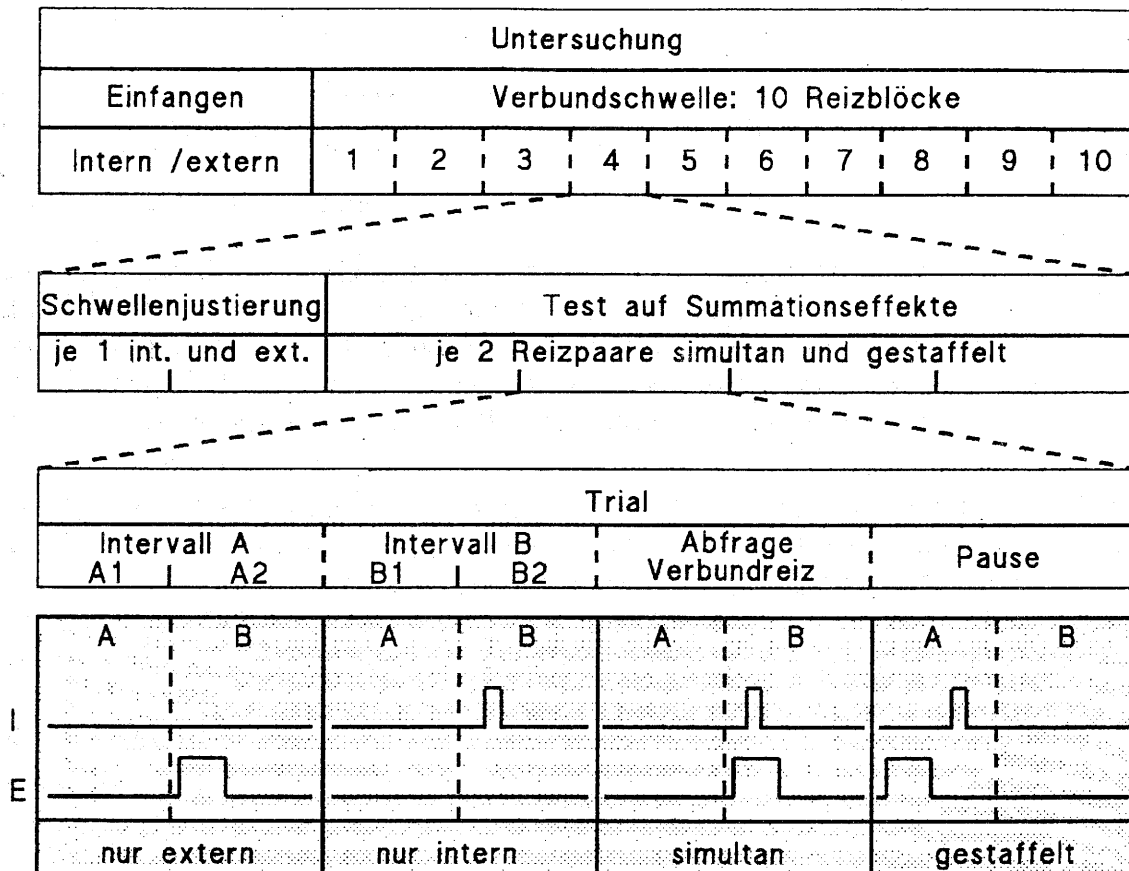


Abb. 2: Ablauf der Untersuchung

oben her angefahren. Eine Modifikation des Staircase-Algorithmus erlaubte ein schnelles Erreichen des Schwellenbereichs ("Einfangserie"). Die sich anschließende Bestimmung der Verbundschwellen diente der Überprüfung der experimentellen Fragestellung. Dabei wurden externe und interne Reize unter verschiedenen zeitlichen Beziehungen dargeboten, wobei beide Reizgrößen subjektiv als gleich stark wahrgenommen werden sollten.

Die Antworten der Probanden unter Zwangsentscheidung steuerten die Reizvolumina des internen und externen Reizes in den Trials der Einfangserie und den Trialblöcken der Hauptprozedur. Nach einer falschen Antwort wurde der folgende Reiz um zwei Stufen einer logarithmischen Skala vergrößert, nach einer richtigen Antwort um eine Stufe verkleinert (1:2-Tracking). Mit diesem Staircase-Algorithmus sollte der 66%-Punkt der psychophysikalischen Funktion angesteuert werden, der eine überzufällige Trefferhäufigkeit markiert.

In allen Teilprozeduren des Experiments erfolgte die Schwellenbestimmung mit Hilfe adaptiver, selbstkalibrierender Methoden (Schwellentracking). Jeder Trial verlangte von den Pbn eine Entscheidung darüber, in welchem von zwei vorgegebenen Zeitintervallen der Reiz aufgetreten ist. Die Antwort der Probanden wirkte sich dabei auf die Reizgröße im nachfolgenden Trial aus.

Eine Experimentalsitzung bestand aus den Teilprozeduren:

- Demo-Serie (intern)
- Einfangserie (intern/extern)
- Verbundschwellen, Run 1 (5 Blöcke)
- Verbundschwellen, Run 2 (5 Blöcke).

### 2.3.1. Demo-Serie

Erfahrungen mit intrakolonischer und taktil-abdomineller Reizung zeigten, daß schwache Dehnungsreize im Sigmoid zu diffusen Empfindungen führen, die raumzeitlich schwer abgrenzbar sind und unter hoher subjektiver Unsicherheit beantwortet werden (Neidig et al., 1993). Mechanische Stimulation der Bauchdecke ruft hingegen klar umschriebene Sensationen hervor. Die Probanden sollten deshalb bereits vor Beginn der Trackingserien mit der Empfindungsqualität interozeptiver Dehnungsreize vertraut gemacht werden und eine Unterscheidung zwischen residualer Sondenempfindung und phasischen Dehnungsreizen erlernen. Zu diesem Zweck wurden nach der Sondenhabituation drei leicht überschwellige Demo-Reize appliziert; die Reizgröße betrug dabei das Doppelte (22.6 ml) der Startvolumina der Einfangserie.

### 2.3.2 Einfangserie

Die Einfangserie sollte einer raschen Annäherung an die exterozeptive und interozeptive Schwelle dienen; sie bestand aus je 10 Einzeldarbietungen des internen und des externen Reizes. Die Verweildauer der internen Stimuli betrug 6 sec, die Verweildauer der externen Stimuli 15 sec. Die Füllgeschwindigkeit war konstant 50 ml/sec. Da über die gesamte Interozeptionsmessung ein nicht näher definierter Verbundreiz abgefragt wurde, dessen Modalität für den Probanden keine Rolle spielen sollte, folgten die internen und externen Reize bereits beim "Einfangen" der Schwellen zufällig aufeinander.

Damit für beide Einzelreiz jeweils Näherungswerte für die 66%-Schwellen (in Volumina) bestimmt werden konnten, liefen zwei unabhängige Trackings parallel. Zum schnellen Erreichen des Schwellenbereichs wurde der 1:2-Tracking-Algorithmus modifiziert. Im Falle richtiger Antworten wurde das Volumen des folgenden ipsimodalen Reizes um zwei Stufen verkleinert, bei falschen Antworten um vier Stufen vergrößert (doppelte Schrittbreite). Die aus dem letzten exterozeptiven und interozeptiven Trial der Einfangserie resultierenden Reizvolumina legten die initialen Reizgrößen der Hauptprozedur fest.

### 2.3.3. Bestimmung der Verbundschwellen

In der sich anschließenden Hauptprozedur wurden für gegebene Reizgrößen die Wahrnehmungsschwellen bei simultaner und gestaffelter Darbietung bestimmt, wobei die Kennwerte der Schwellen aus den Trefferquoten (Proportionen richtiger Antworten) der Reizbedingungen gebildet wurden. Diese Hauptphase des Experiments bestand aus 10 Blöcken à 6 Trials, in denen anfangs die Trackingprozedur für allein dargebotene interne und externe Reize fortgesetzt wurde, und der Applikation von Verbundreizen mit unterschiedlichen zeitlichen Beziehungen.

Der Staircase-Algorithmus verwertete nur die Antworten in Trials mit Einzelreizung, so daß nur nach diesen Trials eine adaptive Veränderung der Reizvolumina möglich war. Das unabhängige exterozeptive und interozeptive Tracking von Block zu Block diente dazu, eine Drift in den Schwellenvolumina aufzufangen und psychophysikalische Äquivalenz des externen und internen Reizes herzustellen bzw. aufrechtzuerhalten. Es liefen somit zwei Schwellen-Trackings parallel. Innerhalb der Blöcke blieben die Reizgrößen konstant, so daß ein Vergleich der Trefferquoten (Proportion richtiger Entscheidungen) zwischen den Reizbedingungen möglich wurde.

Reizbedingungen:

- Zeitlich überlappende Darbietung im gleichen Zeitintervall ("beide simultan"). Der externe Reiz setzte 4.5 sec vor Beginn des internen Reizes ein und wurde 4.5 sec nach dessen Ende beendet. Onset-Latenz 4.5 sec, Offset-Latenz 4.5 sec, Überlappungsdauer 6 sec.
- Zeitlich getrennte Darbietung im *gleichen* Zeitintervall ("beide gestaffelt"). Der externe Reiz setzte 19 sec vor dem internen Reiz ein und wurde 4 sec vor dessen Beginn beendet, so daß es nicht zu einer zeitlichen Überschneidung kam. Onset-Latenz 19 sec, Offset-Latenz 10 sec, Offset-Onset-Latenz 4 sec.
- Einzeldarbietung des internen Reizes ("intern allein")
- Einzeldarbietung des externen Reizes ("extern allein")

Die vier Reizbedingungen wurden durch je zwei komplementäre Trialtypen realisiert:

Tabelle 1: Reizbedingungen und Trialtypen

	R e i z b e d i n g u n g e n			
	intern allein	extern allein	beide simultan	beide gestaffelt
Trialtypen	AO	OA	AA	A2A1
	BO	OB	BB	B2B1

A0	interner Reiz in Intervall A, externer Reiz fehlend
B0	interner Reiz in Intervall B, externer Reiz fehlend
0A	interner Reiz fehlend, externer Reiz in Intervall A
0B	interner Reiz fehlend, externer Reiz in Intervall B
AA	interner Reiz in Intervall A, externer Reiz in Intervall A
BB	interner Reiz in Intervall B, externer Reiz in Intervall B
A2A1	interner Reiz nach externem Reiz, beide in Intervall A
B2B1	interner Reiz nach externem Reiz, beide in Intervall B

Innerhalb der Blöcke konstanter Reizvolumina wurden die Reizbedingungen in pseudo-randomisierter Abfolge präsentiert.

### 2.3.4. Trialstruktur und Intensitätssteuerung

In allen Teilprozeduren gibt es eine einheitliche Zeitstruktur der Trials. Im wesentlichen besteht ein Trial aus zwei visuell und akustisch abgegrenzten Zeitintervallen, innerhalb derer Reize auftreten können (Intervall A und B, Dauer je 25 sec). Während dieser beiden Intervalle achtet der Proband instruktionsgemäß auf Ereignisse im Unterbauch. Daran schließt sich die Abfrage der Wahrnehmungsurteile an. Es folgt eine kurze Pause variabler Dauer.

Im Sinne der adaptiven, selbstkalibrierenden Methodik erfolgte die Steuerung der Reizintensität aufgrund des Wahrnehmungsurteils. Nach einer falschen Antwort wurde der nächste Reiz um zwei Stufen einer logarithmischen Skala vergrößert, nach einer richtigen Antwort um eine Stufe verkleinert (1:2-Tracking). Mit diesem Staircase-Verfahren sollte der 66 %-Punkt der psychophysikalischen Funktion angesteuert werden, die die Wahrscheinlichkeit einer richtigen Antwort in Abhängigkeit des Reizvolumens darstellt. Während der initialen Einfangserie wurde der Staircase-Algorithmus zum rascheren Erreichen des Schwellenbereichs verändert: Bei falscher Antwort Vergrößerung des Reizes um sechs Stufen, bei richtiger Antwort Verkleinerung des Reizes um zwei Stufen (doppelte Schrittbreite).

### 2.3.5. Abfrage des Wahrnehmungsurteils

In jedem Trial wurde nach dem zweiten Wahrnehmungsintervall eine Entscheidung darüber verlangt, in welchem der beiden Zeitintervalle der Reiz aufgetreten ist. Die Pbn waren angewiesen, auch bei geringer Urteilssicherheit bzw. bei fehlender Empfindung sich für ein Intervall zu entscheiden (Forced choice-Methode). Danach wurde die auf einer vierstufigen Ratingskala die subjektive Empfindungsintensität erhoben.

Die Abfrage der Wahrnehmung bezog sich nicht explizit auf den internen oder den externen Reiz. Stattdessen wurde ein globales Wahrnehmungsurteil erhoben, wobei der Ort der Reizung offen blieb. Die folgenden Fragen (einschließlich fester Antwortalternativen) wurden den Pbn auf einem gut sichtbaren Monitor präsentiert.

1. "In welchem Intervall war der Reiz?"  
Intervall A - Intervall B
2. "Wie haben Sie den Reize gespürt?"  
nicht (1) - leicht (2) - deutlich (3) - stark (4)

Bei Rating-Stufen 3 bzw. 4 mußte eine Aussage über die Schmerzhaftigkeit des Reizes beurteilt werden:

2.a. "Die Empfindung war schmerzhaft."

nicht (1) - leicht (2) - deutlich (3) - stark (4)

Bei Antworten von 3 oder 4 auf der Schmerzskala wurde nachgefragt, ob mit der Untersuchung fortgefahren werden solle (sonst Abbruch auf Wunsch des Probanden).

### 2.3.6. Auswertung

Für die vorliegende Studie wurden lediglich die physikalische Reizdimension Volumen und die psychophysikalischen Antworten der Pbn ausgewertet. Als Reizvolumen wurde dabei die Differenz des Ballonvolumens während des Reizes und vorher definiert. Die Schwellenwerte der Reizvolumina waren definiert als (1) Mediane der Reizvolumina der letzten fünf Trials bzw. (2) Reizvolumina, die nach dem letzten Trial resultierten (Endwerte). Als zentrales Maß der somatisch- und viszeral afferenten Reizverarbeitung wurden je Reizbedingung die Proportionen richtiger Antworten berechnet, bezogen auf die Gesamtzahl der Trials mit gleichen Reizbedingungen. Die gruppenstatistische Auswertung konnte vorwiegend mit parametrischen Tests vorgenommen werden.

## 3. Ergebnisse

### 3.1. Beschreibung exterozeptiver und interozeptiver Reizvolumina

Wie oben beschrieben wurde in der Hauptprozedur nach je zwei Trialpaaren (simultan-gestaffelt) eine schwellennahe Adjustierung der Reizgrößen vorgenommen. Die Kalibrierung der Reizgrößen erfolgte in Trials mit Einzeldarbietung des internen bzw. externen Reizes. In der Hauptprozedur (Überblendungsprozedur) wurde in jedem Block eine Reizkalibrierung vorgenommen, so daß für intern und extern je 10 mal die Reizgröße adaptiv geregelt wurde. Für jede Messung wurden zwei Kennwerte der Reizgrößen berechnet:

- Endvolumen nach dem letzten Tracking-Trial
- Median der letzten fünf Reizvolumina.

Während die Verteilungen der internen Endvolumina und Volumenmediane signifikant von der Normalität abweichen (SHAPIRO-WILK,  $p < .01$ ), ist für die externen Kennwerte eine bessere Anpassung an die Normalverteilung gegeben (SHAPIRO-WILK, n.s.). Tabelle 2 beschreibt die Gesamtstichprobe ( $n = 20$ ) hinsichtlich der angesteuerten Reizvolumina.

### 3.2. Auswertung der Entdeckungsleistungen (Entscheidungsverhalten)

#### 3.2.1. Voraussetzungen statistischer Testverfahren

Die Überprüfung der Summationshypothese stützt sich auf den Vergleich von Reaktionsparametern, namentlich den Gruppenvergleich von Proportionen richtiger Antwort-

ten unter Zwangsentscheidung (Trefferquoten). Intraindividuelle Vergleiche (zwischen Trefferquoten der Reizbedingungen) mit Hilfe parametrischer Testverfahren haben die Normalverteilung von Differenzen zur Voraussetzung. Bei einem Stichprobenumfang  $n < 50$  wurde die SHAPIRO-WILK-Statistik herangezogen, um die Verteilung der Differenzen zwischen den Trefferquoten auf Verletzung dieser Voraussetzung zu überprüfen. Vier von sechs Differenzverteilungen waren mit der Nullhypothese konform, zwei wichen nur grenzsignifikant von der Normalität ab ("gestaffelt vs. intern" und "gestaffelt vs. extern", beide  $p < .10$ ). Aufgrund der insgesamt guten Anpassung der Daten an die Normalverteilung wurden parametrische Testverfahren eingesetzt.

Tabelle 2: Volumenschwellen (in ml)

Reizmodalität	Endwert nach 10 Trials		Median d. letzten 5 Trials	
	MW $\pm$ SD	MED $\pm$ IQR	MW $\pm$ SD	MED $\pm$ IQR
interozeptiv	14.5 $\pm$ 9.4	14.2 $\pm$ 9.6	13.5 $\pm$ 8.1	14.2 $\pm$ 8.3
exterozeptiv	7.1 $\pm$ 4.2	6.5 $\pm$ 6.5	7.0 $\pm$ 4.1	6.1 $\pm$ 7.7

MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung, MED: Median, IQR: Interquartil-Range

### 3.2.2. Psychophysikalische Äquivalenz externer und interner Reize

Damit eine Interaktion zwischen dem intraluminalem und dem abdominalen Reiz in der Entdeckungsleistung erkennbar werden kann, darf keiner der beiden Reize hinsichtlich seiner Wahrnehmbarkeit über den anderen dominieren. - Sollen die Bedingungen für die Demonstration von Summationseffekten optimiert werden, so dürfen sich die internen und externen (Einzel-)Reize hinsichtlich ihrer Wahrnehmbarkeit nicht wesentlich unterscheiden. Tabelle 4 ist zu entnehmen, daß für interne und externe Reize keine Unterschiede in den Trefferquoten vorliegen (t-Test gepaart,  $t = 1.63$ , n.s.). Dieses gruppenstatistische Ergebnis macht deutlich, daß die bei simultaner Darbietung gemessenen Verbundschwellen nicht ausschließlich von nur einer Reizmodalität determiniert werden.

### 3.2.3. Ausschluß zeitlicher Summation bei gestaffelter Reizung

Die zentrale Prüfung auf Summationseffekte beruht auf dem Vergleich zwischen simultaner und gestaffelter Reizdarbietung. Wenn die zeitlich gestaffelte Darbietung als Referenzmaß für die simultane Darbietung herangezogen werden soll, ist zu fordern, daß gestaffelte Darbietung ihrerseits nicht zu Wechselwirkungen führt, etwa durch zeitliche Summation. Obgleich die Latenz zwischen Beendigung des externen Reizes und Einsetzen des internen Reizes 4 sec beträgt, sind Wechselwirkungen i. S. einer Spurenkonditionierung prinzipiell nicht auszuschließen. Wie die Mittelwertvergleiche der Differenzen zwischen gestaffeltem Reiz einerseits und internem bzw. externem Einzelreiz andererseits (Tabelle 4) sowie der entsprechende WILCOXON-Verzeichenrangtest zeigen, gibt es keine Hinweise auf eine zeitliche Summation (alle Tests n.s.)

Tabelle 3: Trefferquoten unter den Reizbedingungen (je Messung)

Mess.	Reizbedingungung			
	simultan	gestaffelt	intern	extern
S031	50	50	33	88
S041	85	90	55	100
S051	65	35	55	77
S061	80	50	22	88
S071	95	65	77	55
S081	45	60	44	66
S091	70	50	66	77
S101	95	75	66	77
S111	70	55	66	66
S121	65	60	44	55
S131	100	80	55	66
S141	85	80	66	66
S151	60	75	88	66
S161	45	75	44	88
S171	75	80	77	77
S181	65	55	44	33
S191	80	55	66	88
S201	75	60	77	66
S211	70	60	77	44
S221	70	70	77	55
gepoolt	72.3	64.0	60.0	69.9

Angegeben: Richtige Antworten (in Prozent der Trials)

Tabelle 4: Differenzen zwischen den Reizbedingungen bzgl. Trefferquoten

Vergleich (n = 20)	MW $\pm$ SD der Differenz	t-Test, gepaart (zweiseitig)		
		t	df	p
simultan vs. gestaffelt	9.7 $\pm$ 16.3	2.22	19	< .05
simultan vs. nur intern	10.6 $\pm$ 14.3	2.83	19	< .02
simultan vs. nur extern	7.1 $\pm$ 22.1	0.46	19	n.s.
gestaffelt vs. nur intern	0.9 $\pm$ 16.7	0.99	19	n.s.
gestaffelt vs. nur extern	-2.6 $\pm$ 18.9	-1.30	19	n.s.
nur intern vs. nur extern	-3.4 $\pm$ 20.0	-1.63	19	n.s.

MW: Mittelwert, SD Standardabweichung



### 3.2.4. Vergleich der Reizbedingungen: Test auf Summation

Die Prüfung auf Summationseffekte erfolgte durch einen Vergleich der Trefferquoten unter den Bedingungen simultaner und gestaffelter Reizung. Während bei zeitlicher Überlappung beider Reize Wechselwirkungen i.S. einer Erleichterung der Wahrnehmung postuliert wurden, sind im Falle einer zeitlichen Aufeinanderfolge von externem und internem Reiz (Offset-Onset-Latenz 4 sec) Wechselwirkungen zwischen den Sinneskanälen auszuschließen (s.o.). Tatsächlich unterscheiden sich die Proportionen richtiger Antworten zwischen den beiden Reizbedingungen (Tabelle 4): Bei simultaner Reizung ist die Trefferquote signifikant höher als bei gestaffelter Reizung (gepaarter t-Test,  $t = 2.22$ , einseitig  $p < .02$ ). Auch im Vergleich simultaner Reizung mit alleiniger interner Reizung konnten gerichtete Unterschiede abgesichert werden. Bei gleichzeitiger Darbietung beider Reizmodalitäten ist die Trefferquote gegenüber Einzeldarbietung des Kolonreizes signifikant erhöht (gepaarter t-Test,  $t = 2.83$ , einseitig  $p < .01$ ).

Anschließend wurde ein weiterer, unabhängiger Test auf Summation durchgeführt. Sowohl für die Gesamtstichprobe als auch für einzelne Messungen wurden aufeinanderfolgende Trials mit simultaner und gestaffelter Darbietung paarweise verglichen und die beobachteten Differenzen innerhalb der Trialpaare gegen den Zufall getestet.

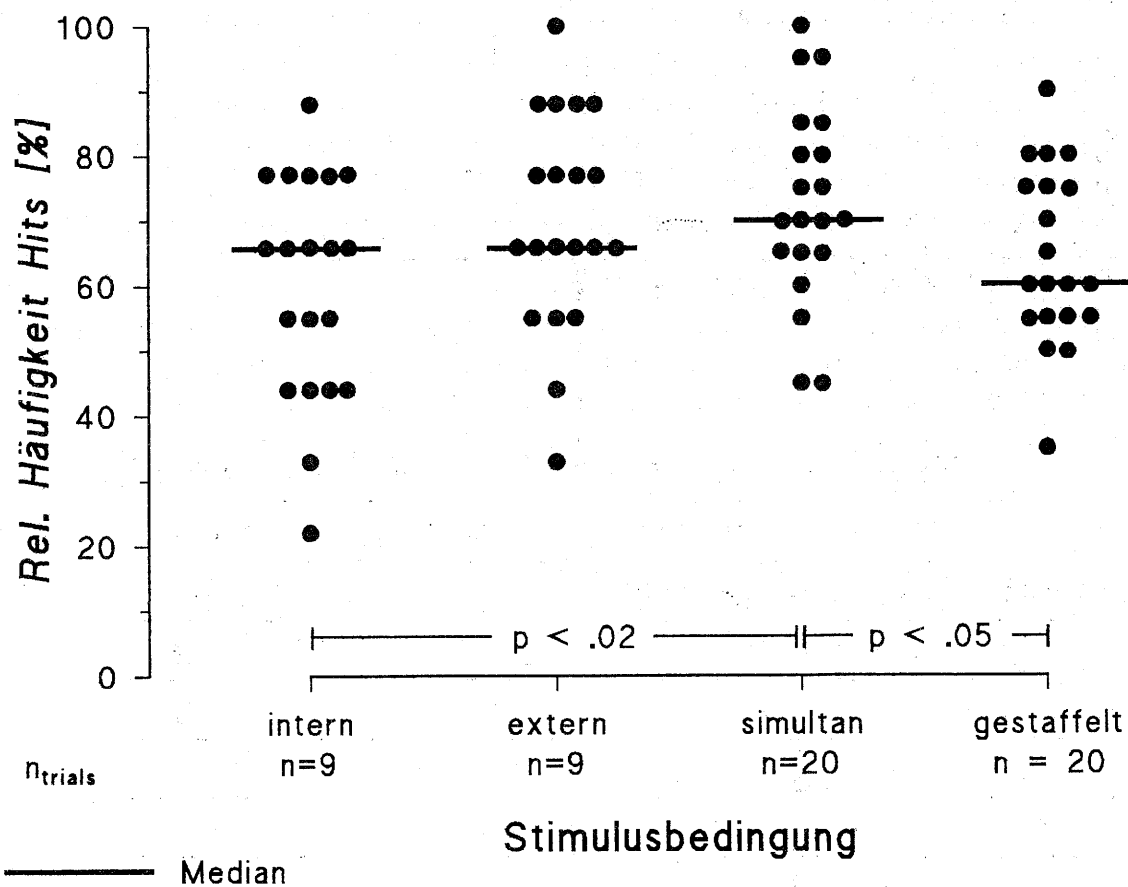


Abb. 3: Relative Häufigkeit der Treffer für die verschiedenen Stimulationsbedingungen

Die Prüfverteilung wurde durch Monte-Carlo-Simulation ermittelt (10000 Simulationen von je 400 Reizpaaren für die Testung der Gesamtstichprobe bzw. 10000 Simulationen von je 20 Reizpaaren für die Testung von Einzelmessungen).

Wegen der kleinen Anzahl von Trials in einer Untersuchung ist die Testung auf Effekte in einer Einzelmessung problematisch. Das Ergebnis der Simulation zeigte, daß für einen schwach signifikanten Effekt (10%, einseitig) ein Unterschied in der beobachteten Trefferrate von 0.23 erforderlich ist, auf 5%-Niveau 0.28, auf 2%-Niveau 0.35. Bei einer theoretisch erwarteten Häufigkeit von 0.67 für die Trefferrate bei Einzelreizen beträgt der maximale mittlere Spielraum nur 0.33, was die Stärke des Tests erheblich einschränkt. Immerhin wurde in 4 Untersuchungen (20%) ein Unterschied  $\geq 0.25$  erreicht, was eigentlich nur in 7% der Fälle eintreten sollte. Eine Erkennung des Auftretens von Summationseffekten in der einzelnen Untersuchung ist aber leider auf diese Weise nicht möglich.

Ein besseres Ergebnis ergab die Simulation des Gesamtexperiments. Hier liegen 400 simulierte Reizpaare vor, was den Test verschärft. Der gefundene Unterschied in den Trefferraten für simultane vs. gestaffelte Reizung von 0.097 ist auf 0.5%-Niveau (einseitig) signifikant, der Unterschied für simultane versus Einzelreizung (0.106) sogar auf 0.2%-Niveau.

### 3.3. Auswertung der Empfindungsurteile

Für die Beurteilung der subjektiven Empfindungsintensität waren die Stufen (1) nicht gespürt, (2) leicht, (3) deutlich und (4) stark gespürt vorgesehen. Da die Pbn nur äußerst selten mit (3) oder (4) antworteten, wurden die Intensitäten (2), (3) und (4) für die Auswertung als "gespürt" zusammengefaßt und der Intensität (1) "nicht gespürt" gegenübergestellt. Für jede Reizbedingung wurden die Häufigkeiten der Berichte "Reiz gespürt" auf die Gesamtzahl der Trials einer Bedingung bezogen.

Die Reizbedingungen wurden hinsichtlich der Empfindungsurteile verglichen. Als Kriterium für die Wahl einer Gruppenstatistik wurden die Verteilungen der Differenzen zwischen den Bedingungen analysiert. Beim SHAPIRO-WILKS-Test (Tabelle 5) wichen zwei Paarvergleiche von der Normalverteilung ab: simultane vs. gestaffelte Reizung (S-W,  $df = 19$ ,  $p < .05$ ) sowie interozeptive vs. exterozeptive Einzelreizung (S-W,  $df = 19$ ,  $p < .10$ ). Da dies die kritischen Bedingungs-paare sind, wurde nonparametrisch getestet.

Hinsichtlich der relativen Häufigkeit subjektiver Empfindungen unterscheiden sich die Bedingungen simultaner und gestaffelter Reizung nicht (Tabelle 5). Bei simultaner Reizung werden tendentiell häufiger subjektive Empfindungen angegeben als bei alleiniger interner Reizung (WILCOXON,  $p < .10$ ). Zeitlich gestaffelte und Einzelreizung hatten keinen differentiellen Effekt auf die bewußten Wahrnehmungen. Die exterozeptiven Reize allein riefen grenzsignifikant häufiger bewußte Empfindungen hervor als die interozeptiven Einzelreize (WILCOXON,  $p < .10$ ).

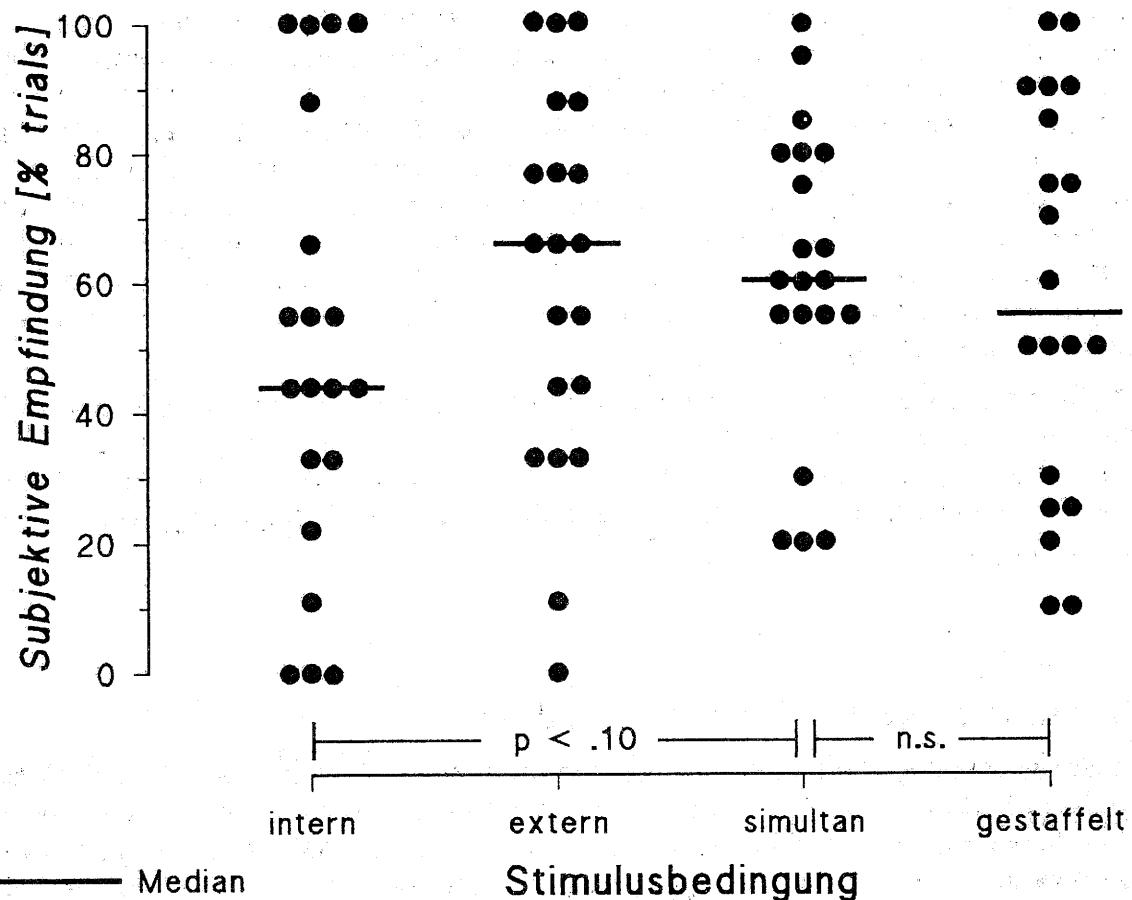


Abb. 4: Subjektive Empfindung der Reize / Reizpaare für die verschiedenen Stimulationsbedingungen

Tabelle 5: Differenzen in den subjektiven Empfindungen (in Prozent)

Vergleich (n = 20)	MW ± SD d. Differenz	MED ± IQR d. Differenz	SHAP.- WILKS	WILCOXON	
				Z	p
simultan - gestaffelt	3.0 ± 17.1	0.0 ± 18.8	< .05	-0.43	n.s.
simultan - nur intern	11.1 ± 23.6	11.0 ± 36.3	n.s.	-1.69	< .10
simultan - nur extern	0.1 ± 17.0	-1.5 ± 22.5	n.s.	-0.39	n.s.
gestaffelt - nur intern	8.1 ± 20.0	8.0 ± 27.5	n.s.	-1.63	n.s.
gestaffelt - nur extern	-2.9 ± 13.5	-4.0 ± 17.0	n.s.	-1.05	n.s.
nur intern - nur extern	-11.0 ± 23.7	-5.5 ± 22.0	< .10	-1.82	< .10

MW: Mittelwert, SD Standardabweichung, MED Median, IQR Interquartil-Range;  
 SHAP.-WILKS: SHAPIRO-WILKS-Test: Wahrscheinlichkeit der Nullhypothese Normalverteilung  
 WILCOXON p: zweiseitiger Test

## 4. Diskussion

Ziel dieser Studie war die Untersuchung der Frage, ob die Sensibilität des Unterbauchs durch ein Zusammenwirken exterozeptiver und interozeptiver Reize gesteigert wird (Summation). [Ziel dieser Studie war die Untersuchung einer vermuteten Summation exterozeptiver und interozeptiver Reize in Bezug auf die Sensibilität im Unterbauchbereich.] Die Ergebnisse, die an zwanzig Probanden gewonnen wurden, zeigen einen summierenden Effekt schwelennaher intrakolonischer und dermatomal zugeordneter abdomineller Reizung auf die Entdeckungsleistung unter forced choice. Insbesondere konnte nachgewiesen werden, daß bei zeitlich überlappenden gegenüber zeitlich getrennter ("gestaffelter") Reizung die Wahrnehmbarkeit eines Verbundreizes erleichtert wird. Der Versuchsplan erlaubt ferner den empirischen Nachweis, daß die Staffeldreizung - Referenzbedingung im Summationstest - selbst frei von Interaktionseffekten ist, da die Entdeckungsleistung bei gestaffeltem Reiz sich nicht von derjenigen bei Einzelreizung unterscheidet.

Die mit dem verwendeten Staircase-Verfahren hergestellten Reizvolumina waren deutlich kleiner als diejenigen einer Vorläuferstudie (Neidig et al., 1993). Statt diesen Sachverhalt auf eine Modifikation des Staircase-Algorithmus zurückführen (1:2-Tracking), liegt es näher, weitere, für die zwei Reizkanäle spezifische Prozeduränderungen zur Erklärung heranzuziehen: (1) Die externe Reizserie wurde mit deutlich kleineren Volumina begonnen. (2) Für die interozeptive Modalität wurden der Einfangserie überschwellige Reize zur Demonstration vorangestellt.

Das Hauptergebnis der vorliegenden Studie besteht in dem Nachweis einer extero-interozeptiven Summation: Bei gleichzeitiger Stimulation des Rektosigmoids und des entsprechenden Dermatoms auf dem Abdomen resultiert eine erhöhte Sensibilität als bei nichsimultaner Stimulation. Dieses Ergebnis steht im Gegensatz zu den Beobachtungen der Vorläuferstudie, bei der Maskierung auftrat, obgleich dieselbe Apparatur und Reiztechnik verwendet wurde (Neidig et al., 1993). Eine Gegenüberstellung einzelner prozeduraler Merkmale der beiden Studien mag zur Klärung der divergenten Ergebnisse beitragen und die besonderen psychophysikalischen Randbedingungen somato-viszeraler Summation erhellen:

- Im Gegensatz zur Prozedur, die Maskierung hervorrief, wurde keine Diskrimination zwischen interozeptiver und exterozeptiver Reizung verlangt. Stattdessen wurde die Aufmerksamkeit auf eine ganzheitliche Wahrnehmung des Unterbauchs gelenkt und ein globales Wahrnehmungsurteil abgefragt.
- Das Maß der Sensibilität war eine psychophysikalische Reaktion (Entscheidungsverhalten) und nicht die Intensität der applizierten Reize. Das Herstellungsverfahren diente dabei lediglich dem Austarieren der internen und externen Reizkomponenten.
- Wie in der Vorläuferstudie gezeigt wurde, ist bei Abdomenreizung im gleichen Dermatom von Summationseffekten auszugehen. Um Summation zu erleichtern, wurde in der vorliegenden Studie ausschließlich im Dermatom des Sigmoidkolons gereizt.

Bei der Beurteilung der erzielten Ergebnisse muß berücksichtigt werden, daß mit der implementierten Prozedur je Reizbedingung nur 20 Trials dargeboten wurden. Die

vergleichsweise geringe Anzahl von Trials wurde z.T. von technischen Beschränkungen diktiert. (Um über zwei Reizkanäle simultan zu reizen, stand nur eine Pumpe zur Verfügung.) Eine Verkürzung, bsw. Halbierung der Trialdauer würde die Anzahl in einer Sitzung realisierbarer Trials verdoppeln, was eine zuverlässigere Schätzung der Verbundschwellen zuließe. Ein Vergleich von Interozeptionsmessungen mit exterozeptiven Schwellenbestimmungen, etwa am visuellen oder akustischen System, muß berücksichtigen, daß die Vorbereitung der Probanden für die Sitzung incl. Sondenapplikation und -habituation einige Zeit in Anspruch nimmt.

Bei der Beurteilung der Ergebnisse ist ferner zu bedenken, daß aufgrund der Herstellungsmethode die Variationsbreite der Proportionen richtiger Antworten eingeschränkt wird. - Das adaptive Verfahren konvergiert im Lauf einer Serie von Einzelreizen auf den 67%-Punkt, wobei die Volumina für Simultan- und Staffelreizung innerhalb der Reizblöcke beibehalten werden, so daß große Abweichungen vom Konvergenzpunkt des Einzeltrackings unwahrscheinlich sind. Wenn nun zwischen den Reizbedingungen, trotz Beschränkung des Spielraums der Antworten, erkennbare Unterschiede sich hinsichtlich der Trefferquoten auftreten, so ist dies als Evidenz für eine Summation zwischen den Sinneskanälen anzusehen.

Die Ergebnisse erlauben einige vorläufige Rückschlüsse über die Interaktion exterozeptiver und interozeptiver Sinneskanäle bei gemischter Stimulation im Unterbauch. Mit der verwendeten Präparation konnte erstmals gezeigt werden, daß die Verarbeitung viszeraler Reize durch somatisch afferente Aktivität erleichtert werden kann. So resultierte aus gleichzeitiger intraluminaler und äußerer taktiler Stimulation eine verbesserte Reizentdeckung. Eine Parallele auf der Ebene der bewußten Empfindung ließ sich hingegen nicht aufzeigen - simultane Reizung intern plus extern führte nicht zu stärkeren bewußten Wahrnehmungen. Den verbesserten Entdeckungsleistungen bei zeitlich überlappender Reizung entspricht keine Zunahme bewußt repräsentierter Empfindungen. Diese Diskrepanz zwischen behavioralen und subjektiven Parametern läßt vermuten, daß das Verhalten unter Zwangsentscheidung durch nichtbewußte viszerale Signale determiniert wird. Die Annahme nicht bewußter zerebraler Verarbeitung viszeraler Afferenzen erfährt weitere Unterstützung durch Ergebnisse einer früheren Studie (Neidig et al., 1993), die eine Verhaltensrelevanz interozeptiver Signale nahelegt.

## Literatur

- Adám, G. Interoception and behavior. Budapest: Akadémiai Kiadó, 1967.
- Adám, G., Balász, L., Vidos, T. & Keszler, P. Detection of colon distension in colostomy patients. *Psychophysiology*, 27 (4), 1990, 451-456.
- Airapetjan, E.S. (Materialien zur Physiologie des internen Analysators des Menschen. Mitteilung II. Über die Rolle des bedingten Reflexes bei der Entstehung und Veränderung des pathologischen Prozesses.) *Trudy Instituta Fiziologii imeni I. P. Pavlova*, 5, 1956, 396-406.

- Airapetjan, E. S., Lobanowa, L. V., Tscherkasowa, L. S. (Materialien zur Physiologie des internen Analysators des Menschen. Mitteilung I. Die innere Signalgebung bei der Reizung der Harnblase; Rezeptoren des Menschen.) Trudy Instituta Fiziologii imeni I. P. Pavlova, 1, 1952 3-20.
- Bárdos, G., Adám, G. Visceroceptive control of operant behavior in rats. *Physiology and Behavior*, 20, 1978, 369-375.
- Bykov, K.M. The cerebral cortex and the internal organs (translated and edited by W.H. Gantt). New York: Chemical Publishing, 1957.
- Dedaschew, J.P. (Einflüsse exterozeptiv und interozeptiv konditionierter Reflexe auf die motorische Aktivität des Reticulums und des Rumens beim Schaf.) *Fiziologicheskoy Zhurnal SSSR*, 45, 1959, 1259-1262.
- Erasmus, L.-P., Püll, O., Kratzmair, M., Hölzl, R.: Method and apparatus for pressure-controlled distension of the lower gastrointestinal tract. *J. Biomed. Eng.*, im Druck (März 1994)
- Erasmus, L.-P. Methoden gastrointestinaler Psychophysik. Methodik und Apparatur zur intrakolonischen und intrarektalen Interozeptionsmessung. Frankfurt/Main: Peter Lang, 1991.
- Erasmus, L.-P., Sarno, S., Hölzl, R. Bestimmung der lokalen Diskrimination viszeraler Dehnungsreize durch adaptive, selbstkalibrierende Verfahren. *Forschungsberichte aus dem Otto-Selz-Institut, Universität Mannheim*, 22, 1993a.
- Erasmus, L.-P., Sarno, S., Hölzl, R. Auswirkungen der Elastizität der Darmwand auf die Wahrnehmung schmerzhafter und nichtschmerzhafter Dehnungsreize bei Gesunden und Patienten mit Irritabilem Kolon. *Forschungsberichte aus dem Otto-Selz-Institut, Universität Mannheim*, 25, 1993b.
- Erasmus, L.-P., Neidig, C.W., Möltner, A., Hölzl, R. Modification of visceral sensitivity by somatic afferent signals. Abstract submitted to *Journal of Psychophysiology*, 1993c.
- Erasmus, L.-P., Püll, O., Sarno-Manetti, S. & Hölzl, R. Determination of interoceptive thresholds by adaptive, self-calibrating tracking procedures. *Proceedings of the 1st European Psychophysiological Conference*. Tilburg: Psychon, 1991.
- Hefferline, R.F. & Perera, T.B. Proprioceptive discrimination of a covert operant without its observation by the subject. *Science*, 139, 1963, 834-835.
- Hefferline, R.F., Bruno, L.J.J., Camp, J.A. Hallucinations: An experimental approach. In: F.J. McGuigan, R.A. Schoonover (Eds.), *The psychophysiology of thinking. Studies of covert processes* (pp. 299-342). New York: Academic Press, 1973.
- Hölzl, R., Püll, O., Erasmus, L.-P. & Kratzmair, M. Properties of discrete tracking procedures with forced choice to assess interoceptive thresholds continuously in time. *Journal of Psychophysiology*, 2, 1988, 137-138 (Abstract).
- Jänig, W., Morrison, J.F.B. Functional properties of spinal visceral afferents supplying abdominal and pelvic organs, with special emphasis on visceral nociception. In: F. Cervero, J.F.B. Morrison (Eds.), *Visceral sensation. Progress in Brain Research*, Vol. 67 (pp. 87-114). Amsterdam: Elsevier, 1986.

- Kröger, Ch. Funktionelle Darmstörungen. Beschwerdebild und psychophysiologische Charakteristika des irritablen Kolons. Frankfurt am Main: Peter Lang, 1986.
- McKenzie, J. Symptoms and their interpretation (pp. 1-206). London: Shaw & Sons, 1909.
- McKimmey, M.B., Silverstein, F.E., Bonica, J.J. Diseases of the gastrointestinal tract. In: J.J. Bonica (Ed.), The management of pain. (pp. 1186-1213.) Philadelphia: Lea & Febiger, 1990.
- Neidig, C.W., Erasmus, L.-P., Möltner, A., Hölzl, R. Influence of somatic afferents on interoceptive thresholds in the gastrointestinal tract. Abstrakte zur 21. Tagung Psychophysiologische Methodik. 09.-12.06. Würzburg, 1993.
- Neidig, C.W., Erasmus, L.-E., Möltner, A., Hölzl, R. Beeinflussung der viszerale Sensibilität durch somatosensorische Signale. Teil I. Maskierung. Forschungsberichte aus dem Otto-Selz-Institut, Universität Mannheim, 27, 1993.
- Razran, G. The observable unconsciousness and the inferable conscious in current Soviet psychophysiology: Interoceptive conditioning, semantic conditioning, and the orienting reflex. Psychological Review, 68, 1961, 81-147.
- Sarno, S., Erasmus, L.-P., Haslbeck, M., Hölzl, R. Visceral perception of distension stimuli and gut changes in diabetic neuropathy. Forschungsberichte aus dem Otto-Selz-Institut, Universität Mannheim, 26, 1993.
- Slucki, H., Adám, G., Porter, R.W. Operant discrimination of an interoceptive stimulus in rhesus monkeys. Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 8, 1965, 405-414.
- Slucki, H., McCoy, F.B., Porter, R.W. Interoceptive  $S^D$  of the large intestine established by mechanical stimulation. Psychological Reports, 24, 1969, 35-42.
- Wassilewskaja, N.J. (Interozeptiv konditionierte Reflexe zweiter Ordnung.) Doklady Akademii Nauk. SSSR, 61, 1948, 161-164.
- Wassilewskaja, N.J. (Die Ausbildung interozeptiv konditionierter Reflexe zweiter Ordnung mit exterozeptiver Verstärkung.) Nauch. Byulleten Leningradskogo Gosud. U., 26, 1950, 21-23.
- Whitehead W.E., Holtkotter, B., Enck, P., Hölzl, R., Holmes K.D., Anthony, J., Shabsin, H.S., Schuster, M.M. Tolerance for rectosigmoid distension in irritable bowel syndrome. Gastroenterology, 98, 1990, 1187-1992.
- Zwosta, M.F., Zenhausen, R. Application of signal detection theory to subliminal and supraliminal accessory stimulation. Perceptual and Motor Skills, 28, 1969, 699-704.